心理学报 2019, Vol. 51, No. 7, 759−771
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2019.00759

不同 SOA 下视觉返回抑制对视听觉整合的调节作用*

彭 姓[1] 常若松[1] 李 奇[2] 王爱君[3] 唐晓雨[1]

([1]辽宁师范大学 心理学院，辽宁省儿童青少年健康人格评定与培养协同创新中心，大连 116029)
([2]长春理工大学 计算机科学技术学院，长春 130022) ([3]苏州大学 心理学系，心理与行为科学研究中心，苏州 215123)

摘 要 基于外源性线索−靶子范式，采用 2(线索−靶子间隔时间, stimulus onset asynchronies, SOA：400~600 ms、1000~1200 ms) × 3(目标刺激类型：视觉、听觉、视听觉) × 2(线索有效性：有效线索、无效线索)的被试内实验设计，要求被试对目标刺激完成检测任务，以考察视觉线索诱发的返回抑制(inhibition of return, IOR)对视听觉整合的调节作用，从而为感知觉敏感度、空间不确定性及感觉通道间信号强度差异假说提供实验证据。结果发现：(1) 随 SOA 增长，视觉 IOR 效应显著降低，视听觉整合效应显著增强; (2) 短 SOA (400~600 ms)时，有效线索位置上的视听觉整合效应显著小于无效线索位置，但长 SOA (1000~1200 ms)时，有效与无效线索位置上的视听觉整合效应并无显著差异。结果表明，在不同 SOA 条件下，视觉 IOR 对视听觉整合的调节作用产生变化，当前结果支持感觉通道间信号强度差异假说。

关键词 外源性空间注意; 视听觉整合; 返回抑制; 竞争模型; 线索−靶子范式
分类号 B842

1 前言

在日常生活中，我们的大脑无时无刻不在接受外在世界大量的信息输入。多感觉整合(multisensory integration, MSI)和外源性空间注意(exogenous spatial attention)是有助于组合和处理不同感觉通道信息的两种重要机制(Calvert, Spence, & Stein, 2004; Spence & Driver, 2004)。多感觉整合是指个体将来自不同感觉通道(视觉、听觉、触觉等)的信息相互作用并整合为统一的、连贯的和有意义的知觉过程(Tang, Wu, & Shen, 2016)。其中，将视觉和听觉信息有效整合的知觉过程被称作视听觉整合(audiovisual integration)。视听觉整合能够促进刺激的检测、识别和定位(Stein & Stanford, 2008)。外源性空间注意是基于空间位置的注意定向，由显著的突显性刺激(例如亮度变化，起伏或移动刺激)以捕获注意，属于注意自下而上的加工(Chica, Bartolomeo, & Lupiáñez, 2013)。同样，外源性空间注意也能够促进目标刺激的检测、识别和定位(Spence, 2010)。例如，外源性线索能够增强同一位置上目标的感知觉处理，从而加快对目标的反应(Mcdonald, Tedersälejärvi, Di, & Hillyard, 2005)。

鉴于视听觉整合与外源性空间注意均能增强感知觉处理，帮助我们更好地感知外部世界，研究者们开始探讨两者间的关系(Talsma, Senkowski, Soto-Faraco, & Woldorff, 2010; Tang et al., 2016)。外源性线索−靶子范式(cue-target paradigm)是研究外源性空间注意的经典范式(Posner & Cohen, 1984)。该范式主要以凸显特征(如方框变亮或变粗)作为线索呈现在左或右侧外周位置，要求被试在经过一段时间间隔(stimulus onset asynchronies, SOA)后，对呈现在与线索相同(即有效线索，valid cue)或不同

收稿日期: 2018-05-21
* 国家自然科学基金项目(31600882; 31700939;61773076)，江苏省基础研究计划(BK20170333)，辽宁省高水平创新团队国(境)外培养项目(2018LNGXGJWPY-YB015)资助。
通信作者：唐晓雨, E-mail: tangyu-2006@163.com; 王爱君, E-mail: ajwang@suda.edu.cn

(即无效线索, invalid cue)位置上的目标刺激进行反应。结果发现, 当线索–靶子间隔时间(即 SOA)小于约 250 ms 时, 有效线索位置上的反应时显著快于无效线索位置, 被称为“易化效应(facilitation effect)”。然而当 SOA 大于 300 ms 时, 有效线索位置上的反应时却显著慢于无效线索位置, 被称为“返回抑制(inhibition of return, IOR)效应”(Martínarévalo, Chica, & Lupiáñez, 2015)。基于此, 研究者们分别考察了外源性空间注意引起的易化效应和抑制效应对视听觉整合的调节作用。

具体来看, van der Stoep 等(2015)考察了外源性听觉线索在短 SOA (200~250 ms)条件下引起的易化效应对视听觉整合的调节作用。实验通过声音诱发外源性空间注意, 要求被试对呈现在左或右侧的视觉(visual, V)、听觉(auditory, A)和视听觉(audiovisual, AV)目标刺激进行反应(Go-trials), 呈现在中间的刺激不反应(No-go trials)。结果发现, 被试对视听觉双通道目标的反应时显著快于单通道的视觉、听觉目标, 即, 产生冗余信号效应(redundant signals effect, RSE)。同时, 外源性空间注意能够加快有效线索位置上目标刺激的反应, 产生易化效应; 更重要的是, 外源性空间注意减少了有效线索位置上的视听觉整合效应。在后续研究中, van der Stoep, van der Stigchel, Nijboer 和 Spence (2016)基于相同的实验范式, 考察了外源性视觉线索在长 SOA (350~450 ms)条件下诱发的 IOR 效应对视听觉整合的调节作用。结果发现, 虽然在反应时结果上发生反转, 即目标刺激通道为视觉时产生 IOR 效应, 但有效线索位置上的视听觉整合效应仍然显著小于无效线索位置。

上述研究结果表明, 无论是外源性空间注意引起的易化效应还是抑制效应, 两者均能减少有效线索位置上的视听觉整合效应(van der Stoep, van der Stigchel, & Nijboer, 2015; van der Stoep et al., 2016)。为此, 研究者们提出多种理论假说来解释外源性空间注意对视听觉整合的调节机制: (1)感知觉敏感度假说, 外源性线索能够提高有效线索位置上的感知觉敏感度, 从而相对增强紧接着呈现在该位置上目标的感知强度(Carrasco, 2011), 基于多感觉加工中的反比效应原则(principle of inverse effectiveness), 高强度刺激引起的多感觉整合效应更小(Senkowski, Saint-Amour, Höfle, & Foxe, 2011), 最终得到有效线索位置上视听觉整合效应减小的结果(van der Stoep et al., 2015)。(2)空间不确定性假说, van der Stoep 等(2015)认为外源性线索–靶子范式中的线索不能预测随后呈现目标的位置以至于产生更高的目标位置不确定性, 因此被试对目标的反应要更多依赖于线索诱发的空间定向。在有效线索位置上, 外源性线索与视听觉目标本身引起的空间定向信息是冗余的, 当线索诱发的空间定向重要性提高时, 视听觉目标本身引起的空间定向重要性则会降低, 最终减少视听觉整合效应。(3)感觉通道间信号强度差异假说, 当不同感觉通道之间的信号强度差异过大时, 多感觉整合效应更小, 而当不同感觉通道之间的信号强度相近时, 多感觉整合效应更大(Otto, Dassy, & Mamassian, 2013)。van der Stoep 等(2016)发现当外源性注意引起视觉目标但未引起听觉目标的 IOR 效应时, 有效线索位置上视、听感觉通道间加工速度差异的增大会导致信号强度差异也随之增大, 最终得到有效线索位置上视听觉整合效应减小的结果。

上述关于外源性注意调节视听觉整合的几种理论假说是研究者们基于不同研究背景(不同性质的外源性线索, 不同 SOA 条件)所提出的(van der Stoep et al., 2015; van der Stoep et al., 2016)。虽然在行为学研究中外源性注意在不同 SOA 条件下对视听觉整合的调节结果一致, 但其神经机制可能并不一致(Martínarévalo et al., 2015)。因此, 本研究关注抑制效应对视听觉整合的调节作用, 统一诱发外源性空间注意的线索类型。利用操控 SOA 能够引起 IOR 效应量变化的特性, 选取 400~600 ms (Tang et al., 2019) (in press)作为短 SOA 条件, 并且参考跨通道视–听返回抑制相关文献(Reuterlorenz, Jha, & Rosenquist, 1996; Spence, Lloyd, Mcglone, Nicholls, & Driver, 2000), 选取 1000~1200 ms 作为长 SOA 条件。考察在不同 SOA 下视觉返回抑制对视听觉整合的调节作用。

综上, 本研究基于外源性线索–靶子范式, 利用视觉线索诱发外源性空间注意, 操控 SOA 条件(400~600 ms、1000~1200 ms)、目标刺激类型(视觉、听觉、视听觉)、线索有效性(有效线索、无效线索), 同时在外源性线索与目标刺激之间加入中央重新定向事件(central reorienting event, CRE) (Prime, Visser, & Ward, 2006)以诱发更稳定的 IOR 效应, 考察视觉 IOR 对视听觉整合的调节作用, 从而为感知觉敏感度、空间不确定性及感觉通道间信号强度差异假说提供实验证据。基于前人研究结果, 研究预期: 外源性空间注意引起的 IOR 效应基于 SOA 而

变化, 从而影响对视听觉整合效应的调节作用。

2 方法

2.1 被试

一方面, 基于以往关于外源性空间注意与多感觉整合关系研究的样本量(van der Stoep et al., 2015; van der Stoep et al., 2016); 另一方面, 基于相关研究中报告的效果量以及期望的功效值(0.8)所计算的样本量(计算软件采用 GPower_3.1.7)。本研究计划样本量 17~34 人, 最终招募某高校在校学生 27 名(男生 4 名, 女生 23 名), 年龄跨度为 18~29 岁, $M = 21.74$ 岁, $SD = 3.46$ 岁。所有被试的视力或矫正视力正常, 听力正常, 均为右利手, 身体健康, 无精神系统疾病, 无脑部损伤史。被试完成实验后获得一定报酬。

2.2 实验仪器和材料

实验刺激呈现在 AOC G2770PF(270LM00009)型号的液晶显示器上, 可视尺寸为27英寸, 屏幕分辨率为 1024×768 像素, 刷新率为 100 Hz。实验程序由 E-prime 1.1 软件编程, 所有视觉刺激呈现在黑色背景上, 亮度指标为 0.4 cd/m^2。被试在黑暗的实验室中单独参加测试, 距离电脑屏幕为 60 cm。

如图 1 左所示: 注视屏中, 屏幕中心呈现白色(RGB: 255, 255, 255; 155.2 cd/m^2)的加号" + "注视点 (长度: 0.05°×0.05°); 线索屏中, 屏幕左/右侧随机出现白色正方形(长度: 1°×1°; 离中央注视点: 4.5°)作为外源性线索引起该位置的注意; 中央线索屏中, 中央注视点变大变粗(长度: 0.1°×0.1°)作为中央位置的重新定向; 目标刺激屏中, 分别呈现视觉、听觉和视听觉刺激。视觉目标刺激为红色(RGB: 255, 0, 0; 27.5 cd/m^2)与白色组成的棋盘格(长度:1°×1°)。听觉目标刺激采用 SoundEngine Free 软件制作和处理, 为 1000Hz 的纯音(65 dB, 100 ms, 10 ms 的 rise 和 fall time), 通过位于屏幕后两侧(左/右)的扬声器呈现(离中央注视点: 19°), 视听觉目标刺激由视觉和听觉目标刺激同时呈现。

2.3 实验程序与实验设计

实验采用 2(SOA 条件: 400~600 ms、1000~1200 ms) × 3(目标刺激类型: 视觉、听觉、视听觉) × 2(线索有效性: 50%有效线索、50%无效线索)的被试内实验设计。实验包括练习和正式实验, 练习实验共 56 个试次, 正式实验共 4 组, 每组 210 个试次, 其中 2 组为短 SOA (400~600 ms)条件, 另外 2 组为长 SOA (1000~1200 ms)条件, 4 组随机呈现。实验中, 目标刺激占 6/7, 捕获刺激占 1/7 (无任何目标刺激出现), 要求被试用优势手的食指既快又准地对目标刺激进行按键反应(键盘上的“B”)。由于实验中的捕获刺激试次无任何目标刺激出现, 因此仅分析包含目标刺激的试次(6/7), 共 720 个试次, 平均每种实验条件下 60 个试次随机呈现。每组结束后, 给予正确次数的反馈, 被试可以在组间进行短暂休息。整个实验大约持续一个小时。

实验阶段单个试次的流程如图 1 右所示: 首先, 注视点随机呈现 800~1000 ms, 接下来屏幕左/右侧随机出现白色正方形(视觉线索), 时间为 50 ms, 经 150~250 ms 或 450~550 ms 随机时间间隔后, 注视点变大变粗 (视觉中心线索), 时间为 50 ms, 中心线索消失后, 同样经 150~250 ms 或 450~550 ms 的随机时间间隔后, 目标刺激(V/A/AV)出现在屏幕的左/右侧, 持续时间为 100 ms。最后, 注视点呈现 1000 ms 允许被试进行按键反应。要求被试在整个实验中都盯住中央注视点直到结束。

2.4 数据分析

反应时数据按照以下标准进行删除: 被试反应错误; 没有反应; 反应时小于 100 ms 或超过 1000 ms。最终数据删除量占总数据的 1.3%。

为了比较不同条件下的相对多感觉反应增强(relative amount of multisensory response enhancement, rMRE), 采用公式(a)对视听觉目标反应时与单通道目标(视觉、听觉)中最快反应时的相对差值进行计算。rMRE 值反映了与单通道目标(视觉、听觉)中最短的反应时相比, 个体对多感觉通道目标反应时的加速或减速的相对量, 代表多感觉反应增强效应。

$$rMRE = \frac{\min(median(RT_A), median(RT_V) - median(RT_{AV}))}{\min(median(RT_A), median(RT_V))} \times 100\% \quad (a)$$

对于冗余信号效应的解释, 有竞争模型(race model)和共激活模型(co-activation model)两种假设(刘强, 2010)。当加工多感觉通道刺激时, 不同感觉通道刺激被分别加工, 最先完成加工的感觉通道优先触发被试的反应, 这种效应被称为统计促进(statistical facilitation), 符合竞争模型假设(Raab, 1962)。若不同感觉通道的刺激均被激活并在特定的时间点上整合为统一连贯的知觉信息并共同作用于随后的加工, 其融合信息的强度及可靠度相比任一单通道信息的强度和可靠度都高, 则代表产生多感觉整合效应, 符合共激活模型(co-activation

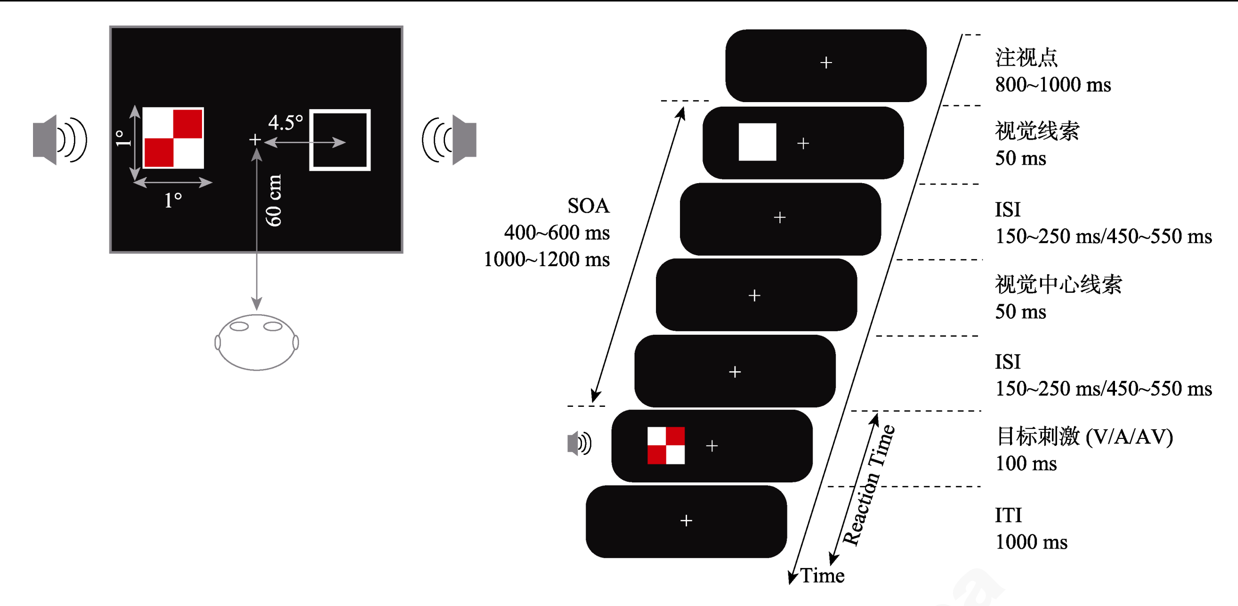


图 1 实验示意图

注：图左为刺激呈现位置的示意图，图右为单个试次的流程图。图右中视觉线索(白色正方形)呈现在左侧，目标(视听觉)也呈现在左侧(即，有效线索位置)，要求被试对目标刺激进行既快又准的检测反应。其中，目标刺激(V/A/AV)分别代表视觉(visual)、听觉(auditory)和视听觉(audiovisual)通道目标。ISI 是指刺激间时间间隔(inter-stimulus interval)。ITI 是指试次间的时间间隔(inter-trial interval)。SOA 的计算是由视觉线索时间(50 ms), 2 个 ISI 时间(150~250 ms/450~550 ms)以及视觉中心线索时间(50 ms)相加而得，因此 SOA 为 400~600 ms/1000~1200 ms。

model) (Miller, 1982, 1986)。为了评估 rMRE 结果是由统计促进(statistical facilitation)还是多感觉整合来解释，采用公式(b) (竞争模型不等式，race model inequality) (Miller, 1986; Raab, 1962; Ulrich, Miller, & Schröter, 2007)来进行计算。

$$P(RT_{RaceModel} < t) = P(RT_A < t) + P(RT_V < t) \quad \text{(b)}$$

在上述公式中，P 代表累积分布函数(cumulative distributive functions, CDF)，即在给定时间 t 内对目标反应的概率值。$P(RT_A < t)$是单通道听觉试次在给定时间 t 内的反应概率值，而 $P(RT_v < t)$是单通道视觉试次在给定时间 t 内的反应概率值，通过该公式能够计算出竞争模型的预测累积概率值(predicated cumulative probability, *CP*)，即 $CP_{Race\ model}$，代表预测的统计促进的上限值(Miller, 1982, 1986; Ulrich et al., 2007)。Race Model (Probability difference)代表视听 CDF 与竞争模型 CDF 在 RT 范围内(本研究为 0~1000 ms)每 10 ms 上的概率差异(Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006)。若在给定反应时范围内，实际 CP_{AV} 显著大于预测 $CP_{Race\ model}$，即显著违反竞争模型，代表发生多感觉整合效应(Ulrich et al., 2007)。视听条件下的 CDF 与竞争模型 CDF 之差表示多感觉整合效应大小。基于竞争模型不等式违反曲线，能够计算出曲线下正值面积(positive area under the curve, pAUC)，对不同条件下显著违反竞争模型时间窗口内的曲线下正值面积(Yang et al., 2014)进行比较能够确定整合效应的大小。

以上两种指标从不同侧面反映了多感觉整合效应。Race Model (Probability difference)是指在各个时间点上的累积分布概率，即，各个时间点上整合效应的大小。而曲线下正值面积(pAUC)是指所有产生整合效应时间段上的总体累积分布差异，即，特定时间段(例如, 280~350 ms)上整合效应的大小。

3 结果与分析

数据分析前，按以下标准剔除被试：(1)个人反应时或正确率超出总平均反应时、正确率的正负 3 个标准差。(2)捕获刺激的个人平均虚报率大于 10%。最终剔除被试 3 人，剩余有效被试 24 人。经统计，即使包含删除数据，现有统计结果的各主效应与交互作用的显著性也没有改变。

3.1 正确率

对正确率进行 2(SOA 条件：400~600 ms、1000~1200 ms) × 3(目标刺激类型：视觉、听觉、视听觉) × 2(线索有效性：有效线索、无效线索)的重复测量方差分析。

结果显示：SOA 主效应不显著，$F(1, 23) = 0.13$, $p = 0.72$；目标刺激类型主效应不显著，$F(2, 46) =$

2.35, p = 0.11; 线索有效性主效应不显著, $F(1, 23)$ = 0.01, p = 0.92; 各因素间的交互作用均不显著, $Fs < 2.35$, $ps > 0.11$。

研究结果显示, 所有被试在各目标刺激类型(视觉、听觉、视听觉)上的正确率均高达 95%以上, 各因素主效应及其交互作用均不显著, 并没有表现出对双通道目标的加工优势。这可能是由于本研究中采用的检测任务相比以往研究中的 Go/No-go 定位检测任务(van der Stoep et al., 2015; van der Stoep et al., 2016)更简单, 出现天花板效应而造成, 因此后面不再对正确率进行进一步讨论。

3.2　反应时

对反应时进行 2 (SOA 条件: 400~600 ms、1000~1200 ms) × 3(目标刺激类型: 视觉、听觉、视听觉) × 2(线索有效性: 有效线索、无效线索)的重复测量方差分析。

结果显示: SOA 主效应显著, $F(1, 23)$ = 4.60, p = 0.043, η_p^2 = 0.17, 短 SOA 条件下反应时(322 ms)显著快于长 SOA 条件(334 ms)。目标刺激类型主效应显著, $F(2, 46)$ = 99.06, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.81, 进一步分析表明, 视听觉目标反应时(301 ms)显著快于听觉目标(331 ms, $p < 0.001$)与视觉目标(352 ms, $p <$ 0.001), 听觉目标反应时(331 ms)显著快于视觉目标(352 ms, $p < 0.001$)。线索有效性主效应显著, $F(1, 23)$ = 165.27, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.88, 无效线索位置上的反应时(319 ms)显著快于有效线索位置(336 ms)。

三因素交互作用显著, $F(2, 46)$ = 6.95, p = 0.003, η_p^2 = 0.23。在短 SOA 条件下, 目标刺激类型与线索有效性交互作用显著, $F(2, 46)$ = 59.15, $p <$ 0.001, η_p^2 = 0.72。具体结果如图 2(a)所示: 在听觉目标上, 无效线索位置(320 ms)与有效线索位置(322 ms)上的反应时无显著差异; 在视听觉目标上, 无效线索位置上的反应时(M = 287 ms, SD = 42.55 ms)显著快于有效线索位置(M = 303 ms, SD = 42.27 ms, $t(23)$ = 7.43, $p < 0.001$, d = 0.37, 95% CI = [11.55, 20.45]); 在视觉目标上, 无效线索位置上的反应时(M = 330 ms, SD = 52.23 ms)显著快于有效线索位置(M = 368 ms, SD = 48.41 ms, $t(23)$ = 11.09, $p <$ 0.001, d = 0.76, 95% CI = [31.54, 46])。另外, 在长 SOA 条件下, 目标刺激类型与线索有效性交互作用也显著, $F(2, 46)$ =14.42, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.39, 简单效应分析结果显示: 在听觉目标上, 无效线索位置上的反应时(M = 337 ms, SD = 60.14 ms)显著快于有效线索位置(M = 343 ms, SD = 56.57 ms, $t(23)$ = 2.26, p = 0.033, d = 0.1, 95% CI = [0.51, 11.24]); 在视听觉目标上, 无效线索位置上的反应时(M = 300 ms, SD = 52.72 ms)显著快于有效线索位置(M = 311 ms, SD = 55.61 ms, $t(23)$ =4.51, $p <$ 0.001, d = 0.2, 95% CI = [5.88, 15.83]); 在视觉目标上, 无效线索位置上的反应时(M = 342 ms, SD = 59.82 ms)仍然显著快于有效线索位置(M = 369 ms, SD = 56.51 ms, $t(23)$ = 7.38, $p < 0.001$, d = 0.46, 95% CI = [19.42, 34.54])。可见, 除短 SOA 条件下的听觉目标未发生显著的 IOR 效应外, 其它条件下均发生显著的 IOR 效应。依据 Cohen 提出对 η_p^2 值效果量大小的判断标准(Cohen, 1988), 本研究中所有方差分析的效果量均较大, 因此以下不再赘述。另外, 依据 Cohen 提出对 d 值效果量大小的判断标准, d = 0.2、

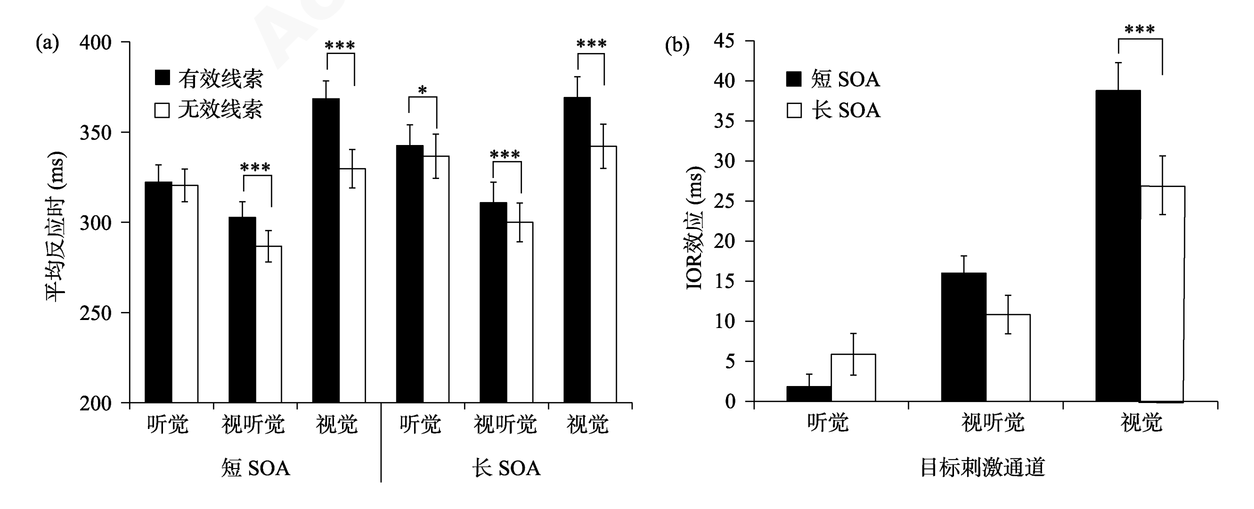


图 2　不同条件下的平均反应时和 IOR 效应

注: 图(a)中的反应时结果为平均中位数。图(b)中 IOR 效应由有效线索位置上目标的平均反应时减去无效线索位置上目标的平均反应时。* $p < 0.05$; *** $p < 0.001$。

d = 0.5 和 d = 0.8 分别对应于小、中、大的效应量(温忠麟, 范息涛, 叶宝娟, 陈宇帅, 2016), 因此在长 SOA 条件下, 虽然听觉目标上 IOR 效应达到显著性水平, 但效应量较小, 并不能代表该条件下听觉目标能产生稳定的 IOR 效应。

3.3 返回抑制(IOR)

首先计算出不同 SOA 条件下各目标刺激类型的 IOR 效应量(有效线索减去无效线索位置上的平均反应时), 再对其进行 2(SOA 条件：400~600 ms、1000~1200 ms) × 3(目标刺激类型：视觉、听觉、视听觉)的重复测量方差分析。

结果如图 2(b)及表 1 所示：SOA 主效应显著, $F(1, 23) = 4.81$, $p = 0.039$, $\eta_p^2 = 0.17$, 短 SOA 条件的 IOR 效应(18.87 ms)显著大于长 SOA (14.57 ms, p = 0.039)。目标刺激类型主效应显著, $F(2, 46) = 47.95$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.68$, 视觉目标的 IOR 效应(32 ms)显著大于视听觉目标(13 ms, $p < 0.001$)和听觉目标(4 ms, $p < 0.001$); 视听觉目标的 IOR 效应(13 ms)显著大于听觉目标(4 ms, $p = 0.001$)。目标刺激类型与 SOA 交互作用显著, $F(2, 46) = 6.09$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.21$, 配对比较结果显示：在听觉与视听觉目标上, 不同SOA之间的IOR效应没有显著差异, 但在视觉目标上, 短 SOA 条件的 IOR 效应(M = 39 ms, SD = 17.13 ms)显著大于长 SOA (M = 27 ms, SD = 17.9 ms, p = 0.001, $t(23) = –3.72$, p = 0.001, d = 0.67, 95% CI = [5.24, 18.34])。另外, 在短 SOA 条件下, 视觉目标 IOR 效应(M = 39 ms, SD = 17.13 ms)显著大于视听觉目标(M = 16 ms, SD = 10.55 ms, $t(23) = –6.41$, $p < 0.001$, d = 1.6, 95% CI = [−30.12, 15.43])。在长 SOA 条件下, 视觉目标 IOR 效应(M = 27 ms, SD = 17.9 ms)也显著大于视听觉(M = 11 ms, SD = 11.79 ms, $t(23) = –3.21$, p = 0.004, d = 1.06, 95% CI = [−26.51, −5.74])。依据 Cohen 提出对 d 值效果量大小的判断标准, 我们有充分理据认为：相比长 SOA 条件, 视觉 IOR 在短 SOA 条件下的效应量更大, 且无论在短还是长SOA条件下, 视觉IOR效应量的确大于视听觉 IOR 效应。

3.4 相对多感觉反应增强(rMRE)

首先对不同 SOA 条件不同线索有效性的 rMRE 进行单样本 t 检验(与 0 进行比较), ts (23) > 7.58, $ps < 0.001$, 结果显示均显著大于 0, 代表与单通道(视觉或听觉)目标中最短的反应时相比, 个体对同时呈现的双通道视听觉目标反应更快, 产生冗余信号效应。接下来对 rMRE 进行 2(SOA 条件：400~600 ms、1000~1200 ms) × 2(线索有效性：有效线索、无效线索)的重复测量方差分析。结果如图 4(a)所示：SOA 主效应不显著, $F(1, 23) = 3.66$, $p > 0.05$。线索有效性主效应显著, $F(1, 23) = 6.63$, $p = 0.017$, $\eta_p^2 = 0.22$, 无效线索位置上的 rMRE (8.97%)显著大于有效线索位置(7.16%)。SOA 与线索有效性交互作用显著, $F(1, 23) = 4.98$, $p = 0.036$, $\eta_p^2 = 0.18$, 配对比较结果显示：在短 SOA 条件下, 无效线索位置上的 rMRE (M = 9.13%, SD = 4.07%)显著大于有效线索位置(M = 5.93%, SD = 3.83%, $t(23)$ =

表 1 不同 SOA 条件下 Cueing effect、rMRE、pAUC 结果对比

条件	M	95% CI		t	p
		下限	上限		
短 SOA					
Cueing effect (ms)					
V	38.77	31.54	46.00	11.09	0.000
A	1.83	−1.43	5.10	1.16	0.257
AV	16.00	11.55	20.45	7.43	0.000
Cueing effect 对比(ms)					
AV vs. V	−22.77	−30.12	−15.43	−6.41	0.000
V vs. A	36.94	28.53	45.34	9.09	0.000
AV vs. A	14.17	9.06	19.28	5.74	0.000
rMRE 对比(%)					
无效 vs.有效	3.20	1.53	4.87	3.97	0.001
pAUC 对比(ms)					
无效 vs.有效	−4.30	−6.64	−1.96	−3.80	0.001
长 SOA					
Cueing effect (ms)					
V	26.98	19.42	34.54	7.38	0.000
A	5.88	0.51	11.24	2.26	0.033
AV	10.85	5.88	15.83	4.51	0.000
Cueing effect 对比(ms)					
AV vs. V	−16.13	−26.51	−5.74	−3.21	0.004
V vs. A	21.10	14.24	27.97	6.36	0.000
AV vs. A	4.98	−2.88	12.84	1.31	0.203
rMRE 对比(%)					
无效 vs. 有效	0.4	−1.78	2.59	0.38	0.706
pAUC 对比(ms)					
无效 vs. 有效	2.14	−1.12	5.40	1.36	0.188

注：Cueing effect 为有效线索减去无效线索值, M 为平均数, 95% CI 为 95%置信区间, rMRE 代表相对多感觉反应增强, pAUC 代表曲线下正值面积。无效 vs. 有效代表对无效线索与有效线索进行配对样本 t(双尾)检验。

–3.97, $p = 0.001$, $d = 0.81$, 95% CI = [−4.87, −1.53])。然而在长 SOA 条件下, 有效线索位置(M = 8.39%, SD = 3.78%)与无效线索位置(M = 8.79%, SD = 3.93%)上的 rMRE 不存在显著差异, $t(23) = −0.38$, $p = 0.706$。依据 Cohen 提出对 d 值效果量大小的判断标准, 我们有充分理据认为: 在短 SOA 条件下, 无效线索位置上的 rMRE 的确大于有效线索位置。

3.5　竞争模型分析(race model)

首先, 在反应时 0~1000 ms 区间, 求出每 10 ms 时间段上不同 SOA 条件下不同线索有效性的概率值: 视觉 P (RT_v < t)、听觉 P (RT_A < t)和视听觉 P (RT_{AV} < t)。不同条件下实际 AV 累积概率(CP_{AV})与竞争模型预测累积概率($CP_{Race\ model}$)在反应时(0~1000 ms)上的结果如图 3(a-b)所示。其次, 将不同 SOA 条件下不同线索有效性的 CP_{AV} 减 $CP_{Race\ model}$ 的累计概率差异值在每 10 ms 上进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)。结果如图 3(c)所示: 在短 SOA (400~600 ms)条件下, 有效线索位置上显著违反竞争模型(显著大于 0)的时间窗口是 80 ms (280 ~ 350 ms), ts (23) > 2.64, ps < 0.015, 峰值在 320 ms, 为 0.07。无效线索位置上显著违反竞争模型的时间窗口是 130 ms (230~360 ms), ts (23) > 2.25, ps < 0.035, 峰值在 310 ms, 为 0.08。在长 SOA (1000~1200 ms)条件下, 有效线索位置上显著违反竞争模型的时间窗口是 160 ms (220 ~ 370 ms), ts (23) > 2.78, ps < 0.025, 峰值在 320 ms, 为 0.11。无效线索位置上显著违反竞争模型的时间窗口是 120 ms (230 ~ 340 ms), ts (23) > 2.24, ps < 0.035, 峰值在 290 ms, 为 0.09。即在短 SOA 条件下, 无效线索位置相比有效线索位置违反竞争模型的时间窗口更长, 发生的时间更早且峰值更大; 在长 SOA 条件下, 有效线索位置反而比无效线索位置违反竞争模型的时间窗口更长, 发生时间窗口更晚且峰值更大。上述结果表明, 在短 SOA (400~600 ms)条件下, 无效线索位置上的视听觉整合效应大于有效线索位置, 然而在长 SOA (1000~1200 ms)条件下, 有效

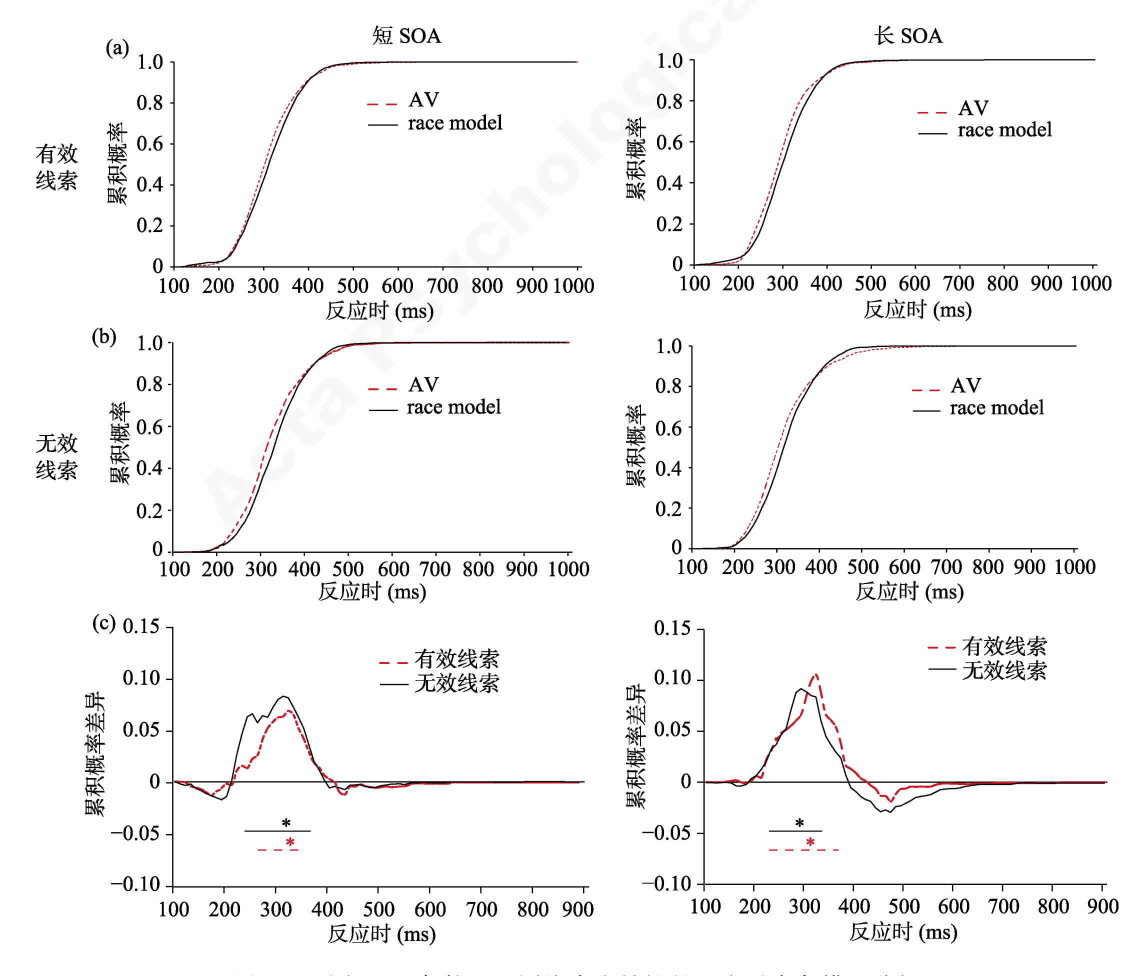


图 3　不同 SOA 条件下不同线索有效性的反应时竞争模型分析

注: 图(c)中加粗横线表示显著违反竞争模型(实际 AV 累积概率(CP_{AV})显著大于竞争模型预测累积概率($CP_{Race\ model}$))的时间窗口, 红色虚线代表有效线索位置, 黑色实线代表无效线索位置。*代表峰值(最大概率值)出现的时间。

线索位置上的视听觉整合效应反而大于无效线索位置。

3.6 曲线下正值面积(pAUC)

对 pAUC 进行 2(SOA 条件：400~600 ms、1000~1200 ms) × 2(线索有效性：有效线索、无效线索)的重复测量方差分析。结果如图 4(b)所示：SOA 主效应显著，$F(1, 23) = 6.66$, $p = 0.017$, $\eta_p^2 = 0.22$, 长 SOA 条件下的 pAUC (9.92 ms)显著大于短 SOA 条件(7.23 ms)。线索有效性主效应不显著，$F(1, 23) = 0.55$, $p > 0.05$。SOA 与线索有效性交互作用显著，$F(1, 23) = 16.28$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.41$。配对比较结果显示：在短 SOA 条件下，无效线索位置上的 pAUC ($M = 9.38$ ms, $SD = 4.92$ ms)显著大于有效线索位置($M = 5.08$ ms, $SD = 3.73$ ms, $t(23) = –3.8$, $p = 0.001$, $d = 0.99$, 95% CI = [−6.64, −1.96])；而在长 SOA 条件下，无效线索($M = 8.85$ ms, $SD = 6.03$ ms)与有效线索位置上的 pAUC ($M =10.99$ ms, $SD = 7.35$ ms)无显著差异。依据 Cohen 提出对 *d* 值效果量大小的判断标准，我们有充分理据认为：在短 SOA 条件下，无效线索位置上 pAUC 显著大于有效线索位置。

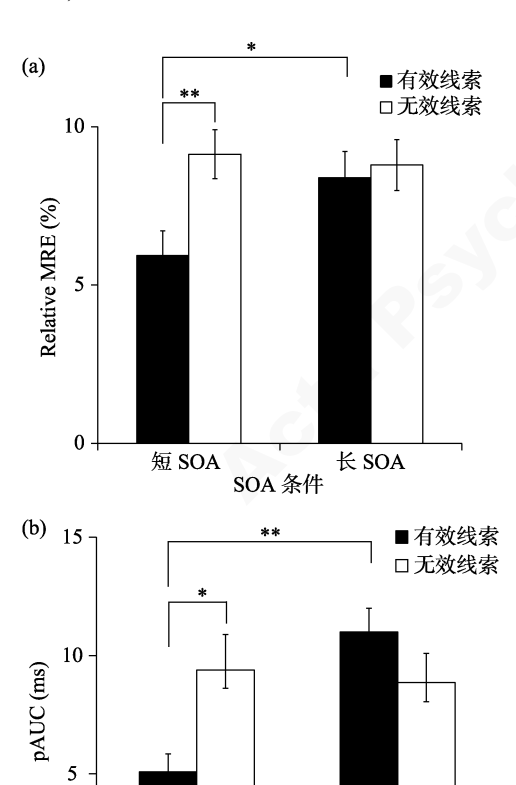


图 4 不同 SOA 条件下不同线索有效性的 rMRE/pAUC

注：* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$。

3.7 单通道视、听觉反应时差异结果分析

首先对单通道视(V)、听觉(A)反应时差异绝对值与 rMRE ($M = 9.21\%$, $SD = 3.16\%$)进行皮尔逊相关分析。结果显示单通道 A、V 反应时之差与 rMRE 间存在显著负相关($r = -0.716$, $p < 0.001$)，即，单通道 A、V 反应时之差越小，rMRE 越大，反之亦然。前人研究发现当不同感觉通道之间的信号强度差异过大时，多感觉整合效应更小，而当不同感觉通道之间的信号强度相近时，多感觉整合效应更大(Otto et al., 2013)。因此，当有效线索位置上单通道 A、V 反应时之差过大时，信号强度差异也更大，视听觉整合效应相应减小，而在无效线索位置上单通道 A、V 反应时之差相近时，信号强度差异也更近，视听觉整合效应则更大。

进一步对不同线索有效性位置上不同 SOA 条件下的单通道 A、V 反应时之差进行比较。结果如图 5 所示：在有效线索位置上，短 SOA 条件下的单通道 A、V 反应时之差显著大于长 SOA 条件[46 ms vs. 35 ms, $t(23) = 2.42$, $p = 0.024$]。而在无效线索位置上，短 SOA 与长 SOA 条件下的单通道 A、V 反应时之差并无显著差异[19 ms vs. 21 ms, $t(23) = −0.398$, $p > 0.05$。可见，在有效线索位置上，短 SOA 条件下单通道 A、V 反应时之差显著大于长 SOA 条件下，因而短 SOA 条件下的视听觉整合效应显著减小。

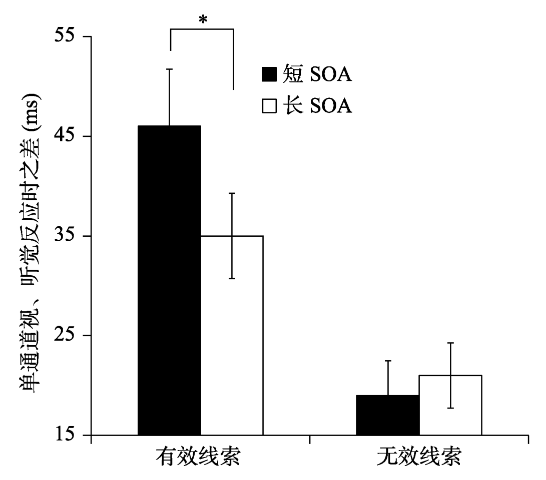


图 5 不同 SOA 条件下不同线索有效性的视、听觉反应时之差

注：* $p < 0.05$。

4 讨论

本研究基于外源性线索−靶子范式，由注视点

两侧的白色正方形作为外源性视觉注意线索，同时操控不同 SOA 条件(400~600 ms、1000~1200 ms)，目标刺激类型(视觉、听觉、视听觉)和线索有效性(有效线索、无效线索)来考察视觉 IOR 对视听觉整合的调节作用。

4.1 不同目标刺激类型上的 IOR 效应

研究发现，在听觉通道目标上，仅在长 SOA 条件下发现 IOR 效应。以往研究结果显示，相比诱发同一感觉通道内的 IOR，跨通道 IOR 的发生会有所延迟。例如，视觉线索在 SOA 1050~1250 ms (Spence et al., 2000)以及 1000/1300 ms 条件下(Reuter-Lorenz, Jha, & Rosenquist, 1996)成功诱发听觉 IOR 效应。而在 SOA 350~450 ms (van der Stoep et al., 2016)，575 ms (Schmitt, Postma, & De, 2000)以及 650 ms (Yang & Mayer, 2014)条件下并未诱发出听觉 IOR 效应。可见，通常在更长的 SOA 条件下才能观察到跨通道视−听觉 IOR 效应(Spence et al., 2000; Ward, Mcdonald, & Lin, 2000)。因此，本研究中，听觉目标的 IOR 效应只在长 SOA (1000~1200 ms)条件下被观察到。

在视觉通道目标上，随 SOA 的增长，视觉 IOR 效应显著降低，这与以往研究结果部分一致(Agusti, Satorres, Pitarque, & Meléndez, 2017; Wascher & Tipper, 2004)。然而也有研究表明，在一定时间(例如, 1000 ms)范围内，随 SOA 的增长, IOR 效应有所增强(Tassinari, Aglioti, Chelazzi, Peru, & Berlucchi, 1994; Wascher & Tipper, 2004)。

在视听觉通道目标上，无论在短还是长 SOA 条件下均发生显著的 IOR 效应，但两者之间并无显著差异。van der Stoep 等(2016)在 SOA 为 350~450 ms 的条件下，并未得到视觉线索能够诱发视听觉目标 IOR 的结果。分析其原因：一方面，可能是由于本研究中加入的中央重新定向事件(central reorienting event, CRE)发挥了作用，强制被试的注意由周边位置回到中央注视点(Pratt & Fischer, 2002; Reuter-Lorenz et al., 1996)。另一方面，大量研究表明，实验任务难度是影响 IOR 的一个重要因素(Martínarévalo et al., 2015)，相比任务难度较简单的检测任务，辨别任务中 IOR 的出现需要更长的 SOA 且其效应量更小(Chica, Lupianez, & Bartolomeo, 2006; Lupiáñez, Milán, Tornay, Madrid, & Tudela, 1997; Lupiáñez, Ruz, Funes, & Milliken, 2007)。因此，相比以往研究中的 Go/No-go 定位检测任务，本研究采用的简单检测任务能够更早地诱发出视听觉目标的 IOR 效应，即使在短 SOA (400~600 ms)条件下。

4.2 IOR 对视听觉整合效应的调节作用

在反应时结果上，无论在短还是长 SOA 条件下，视听觉双通道目标的反应时均显著快于单通道的视觉、听觉目标，即产生冗余信号效应，这与以往研究结果一致(Hershenson, 1962; Talsma & Woldorff, 2005)。这种促进效应作为视听觉整合的主要行为学指标之一(Raab, 1962; Stein & Meredith, 1993)，体现了双通道信息的加工优势。另外，基于 rMRE、Race Model (Probability differenc)及 pAUC 这三种反映多感觉整合效应的统计指标结果(具体见方法部分)。研究发现，在不考虑目标刺激呈现位置(外源性有效线索位置、无效线索位置)的情况下，随着 SOA 的增长，总体视听觉整合效应显著增强。然而，通过在视听觉目标刺激前设置外源性线索，区分出的外源性有效线索与无效线索两个位置，发现短 SOA (400~600 ms)时，有效线索位置上的视听觉整合效应显著大于无效线索位置，与以往研究结果一致(van der Stoep et al., 2016)。但长 SOA (1000~1200 ms)时，有效与无效线索位置上的视听觉整合效应并无显著差异。

具体来看，在短 SOA 条件下，外源性注意减小有效线索位置上的视听觉整合效应。基于感知觉敏感度假说, van der Stoep 等(2016)认为视觉 IOR 效应与有效线索位置上感知觉敏感度的降低相关(Slagter, Prinssen, Reteig, & Mazaheri, 2016)，由于反比效应原则中低强度刺激引起的多感觉整合效应更大，当前的行为学结果并不支持该假说。基于空间不确定性假说，有效线索位置上外源性线索与视听觉目标本身引起的空间定向信息是冗余的。当目标位置的空间不确定性提高线索空间定向的重要性时，视听觉目标整合的重要性则会降低，最终得到有效线索位置上视听觉整合效应减少的结果。基于感觉通道间信号强度差异假说，视觉线索只引起了视觉通道目标的 IOR 效应，并没有引起听觉通道目标的 IOR 效应。当有效线索位置上视觉目标的加工时间由于返回抑制变得更慢，听觉目标并没有更慢时，视、听感觉通道间加工速度的差异增大会导致信号强度差异也随之增大，最终得到有效线索位置上视听觉整合效应减少的结果。可见，短 SOA 条件下的结果既支持空间不确定性假说又支持感觉通道间信号强度差异假说。

然而，在长 SOA 条件下，有效与无效线索位置上的视听觉整合效应并无显著差异，且所有目标刺

激通道类型上均发生显著的IOR效应，因此当前行为学结果仍然不支持感知觉敏感度假说。基于空间不确定假说，目标刺激呈现位置的空间不确定性一直存在，因此多感觉整合效应在有效线索位置上应当有所减小，结果并不支持该假说。我们推测，长时间延时准备的线索–靶子范式中考察的外源性注意在某种程度上会转换为内源性注意。在以往关于内源性注意与视听觉整合关系的研究中，研究者们发现内源性注意能够通过调节机制降低感觉通道内的干扰信息从而增强视听觉信息输入的可靠性(Macaluso et al., 2016)，最终增强注意位置(相当于有效线索位置)上的视听觉整合效应(Tang et al., 2016)。也就是说，由于 SOA 时间的增长，可能使得被试对外源性线索产生了心理准备，从而降低外源性线索空间定向的重要性，最终得到有效线索位置与无效线索位置上整合效应无显著差异的结果。基于感觉通道间信号强度差异假说，视觉线索不仅引起视觉通道目标还引起听觉通道目标的 IOR 效应，单通道视、听通道间反应时之差相比短 SOA 条件显著减小，当不同线索有效性(有效线索、无效线索)位置上的单通道视、听觉加工速度相近时，不同线索有效性位置上视听觉整合效应并无显著差异。可见，长 SOA 条件下的结果支持感觉通道间信号强度差异假说。

4.3 视听觉整合效应对 IOR 的影响

基于本研究的行为学实验结果，IOR 与视听觉整合效应可能存在交互关系，即，视听觉整合也能够影响 IOR。具体来看，无论在短还是长 SOA 条件下，视听觉目标的 IOR 效应均显著小于视觉目标。以往研究发现，与视觉目标同时呈现的听觉刺激不仅可以增强感知的视觉亮度(Stein, London, Wilkinson, & Price, 1996)，还可以降低视觉对比阈值(Lippert, Logothetis, & Kayser, 2007; Noesselt et al., 2010)。另外，代表视听觉整合的 P50 成分(Giard & Peronnet, 1999; Talsma, Doty, & Woldorff, 2007)与视觉目标的感知觉显著性增加有关(van der Burg, Olivers, Bronkhorst, & Theeuwes, 2008; van der Burg, Talsma, Olivers, Hickey, & Theeuwes, 2011)。也就是说，同时呈现的听觉刺激能够增强视觉目标的感知觉显著性。而 IOR 作为偏好获取新信息以促进视觉搜索效率的机制(Klein, 1988; Klein, 2000; Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985)，可以通过降低先前探索过空间位置(即，有效线索位置)的显著性来促进视觉探索，使得视野中其它未探索的位置(即，无效线索位置)能够超越探索过位置的注意(Koningsbruggen, Gabay, Sapir, Henik, & Rafal, 2010; Prime & Ward, 2006)。如上所述，当视听觉目标 IOR (降低显著性)遇到视听觉整合(增加感知觉显著性)时，视听觉整合可以帮助视听觉目标抵抗其在早期感知/注意处理中被抑制。因此，在本研究中，无论在短还是长 SOA 条件下，视听觉 IOR 效应均显著小于视觉 IOR。

综上所述，IOR 与视听觉整合两者间可能存在交互关系。一方面，视听觉整合能够调节视听觉目标的感知觉显著性，从而帮助视听觉目标抵抗在外源性线索–靶子范式中的抑制效应。另一方面，IOR 能够调节视听觉整合效应，当前结果支持感觉通道间信号强度差异假说。

5 结论

在不同 SOA 条件下，视觉 IOR 对视听觉整合的调节作用产生变化。在短 SOA 上，视觉 IOR 减少视听觉整合效应；在长 SOA 上，视觉通道 IOR 效应的降低，减弱对视听觉整合效应的调节作用。当前研究结果支持感觉通道间信号强度差异假说。

参 考 文 献

Agusti, A. I., Satorres, E., Pitarque, A., & Meléndez, J. C. (2017). Effects of SOA and age on the inhibition of return in a localization task. *Current Psychology*, 1–6.

Calvert, G. A., Spence, C., & Stein, B. E. (2004). The handbook of multisensory processes. *MIT Press*.

Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research, 51*(13), 1484–1525.

Chica, A. B., Bartolomeo, P., & Lupiáñez, J. (2013). Two cognitive and neural systems for endogenous and exogenous spatial attention. *Behavioural Brain Research, 237*(1), 107–123.

Chica, A. B., Lupianez, J., & Bartolomeo, P. (2006). Dissociating inhibition of return from endogenous orienting of spatial attention: Evidence from detection and discrimination tasks. *Cognitive Neuropsychology, 23*(7), 1015–1034.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd Edition).* . Erlbaum Associates.

Giard, M. H., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: A behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(5), 473–490.

Hershenson, M. (1962). Reaction time as a measure of intersensory facilitation. *Journal of Experimental Psychology, 63*(3), 289–293.

Klein, R. (1988). Inhibitory tagging system facilitates visual search. *Nature, 334*(6181), 430–431.

Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(4), 138–147.

Koningsbruggen, M. G., Gabay, S., Sapir, A., Henik, A., &

Rafal, R. D. (2010). Hemispheric asymmetry in the remapping and maintenance of visual saliency maps: A TMS study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(8), 1730−1738.

Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging, 27*(8), 1155−1163.

Lippert, M., Logothetis, N. K., & Kayser, C. (2007). Improvement of visual contrast detection by a simultaneous sound. *Brain Research, 1173*(1173), 102−109.

Liu Q. (2010). *The research on brain mechanism of the multisenory integration* (Unpublished doctorial dissertation). Southwest University, China.

[刘强. (2010). *多感觉整合脑机制研究*(博士学位论文). 西南大学.]

Lupiáñez, J., Milán, E. G., Tornay, F. J., Madrid, E., & Tudela, P. (1997). Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. *Perception & Psychophysics, 59*(8), 1241−1254.

Lupiáñez, J., Ruz, M., Funes, M. J., & Milliken, B. (2007). The manifestation of attentional capture: Facilitation or IOR depending on task demands. *Psychological Research, 71*(1), 77−91.

Macaluso, E., Noppeney, U., Talsma, D., Vercillo, T., Hartcher-O'Brien, J., & Adam, R. (2016). The curious Incident of attention in multisensory integration: Bottom-up vs. top-down. *Multisensory Research, 29*(6−7), 557−583.

Martínarévalo, E., Chica, A. B., & Lupiáñez, J. (2015). No single electrophysiological marker for facilitation and inhibition of return: A review. *Behavioural Brain Research, 300*, 1−10.

McDonald, J. J., Tedersälejärvi, W. A., Russo, F. D., & Hillyard, S. A. (2005). Neural basis of auditory-induced shifts in visual time-order perception. *Nature Neuroscience, 8*(9), 1197−1202.

Miller, J. (1982). Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology, 14*(2), 247−279.

Miller, J. (1986). Time course of coactivation in bimodal divided attention. *Perception & Psychophysics, 40*(5), 331−343.

Noesselt, T., Tyll, S., Boehler, C. N., Budinger, E., Heinze, H. J., & Driver, J. (2010). Sound-induced enhancement of low-intensity vision: Multisensory influences on human sensory-specific cortices and thalamic bodies relate to perceptual enhancement of visual detection sensitivity. *Journal of Neuroscience, 30*(41), 13609−13623.

Otto, T. U., Dassy, B., & Mamassian, P. (2013). Principles of multisensory behavior. *Journal of Neuroscience, 33*(17), 7463−7474.

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. *Attention and Performance X: Control of Language Processes, 32*, 531−556.

Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L. S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology, 2*(3), 211−228.

Pratt, J., & Fischer, M. H. (2002). Examining the role of the fixation cue in inhibition of return. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 56*(4), 294−301.

Prime, D. J., Visser, T. A. W., & Ward, L. M. (2006). Reorienting attention and inhibition of return. *Perception & Psychophysics, 68*(8), 1310−1323.

Prime, D. J., & Ward, L. M. (2006). Cortical expressions of inhibition of return. *Brain Research, 1072*(1), 161−174.

Raab, D. H. (1962). Statistical facilitation of simple reaction times. *Transactions of the New York Academy of Sciences, 24*(5), 574−590.

Reuter-Lorenz, P. A., Jha, A. P., & Rosenquist, J. N. (1996). What is inhibited in inhibition of return? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*(2), 367−378.

Schmitt, M., Postma, A., & De, H. E. (2000). Interactions between exogenous auditory and visual spatial attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology, 53*(1), 105−130.

Senkowski, D., Saint-Amour, D., Höfle, M., & Foxe, J. J. (2011). Multisensory interactions in early evoked brain activity follow the principle of inverse effectiveness. *Neuroimage, 56*(4), 2200−2208.

Slagter, H. A., Prinssen, S., Reteig, L. C., & Mazaheri, A. (2016). Facilitation and inhibition in attention: Functional dissociation of pre-stimulus alpha activity, P1, and N1 components. *Neuroimage, 125*(6), 25−35.

Spence, C. (2010). Crossmodal spatial attention. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1191*(1), 182−200.

Spence, C., & Driver, J. (2004). Crossmodal space and crossmodal attention. *Politics*.

Spence, C., Lloyd, D., Mcglone, F., Nicholls, M. E. R., & Driver, J. (2000). Inhibition of return is supramodal: A demonstration between all possible pairings of vision, touch, and audition. *Experimental Brain Research, 134*(1), 42−48.

Stein, B. E., London, N., Wilkinson, L. K., & Price, D. D. (1996). Enhancement of perceived visual intensity by auditory stimuli: a psychophysical analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(6), 497−506.

Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). The merging of the senses. *Journal of Cognitive Neuroscience, 5*(3), 373−374.

Stein, B. E., & Stanford, T. R. (2008). Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(4), 255−266.

Talsma, D., Doty, T. J., & Woldorff, M. G. (2007). Selective attention and audiovisual integration: Is attending to both modalities a prerequisite for early integration? *Cerebral Cortex, 17*(3), 679−690.

Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(9), 400−410.

Talsma, D., & Woldorff, M. G. (2005). Selective attention and multisensory integration: Multiple phases of effects on the evoked brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(7), 1098−1114.

Tang, X. Y., Wu, J. L., & Shen, Y. (2016). The interactions of multisensory integration with endogenous and exogenous attention. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 61*, 208−224.

Tang, X. Y., Gao, Y. L., Yang, W. P., Ren, Y. N., Wu, J. L., Zhang, M., Wu, Q. (in press). Bimodal-divided attention attenuates visually induced inhibition of return with audiovisual targets. *Experimental Brain Research*. First online 15 Feb.2019, https://doi.org/10.1007/s00221-019-05488-0

Tassinari, G., Aglioti, S., Chelazzi, L., Peru, A., & Berlucchi, G. (1994). Do peripheral non-informative cues induce early facilitation of target detection? *Vision Research, 34*(2), 179−189.

Ulrich, R., Miller, J., & Schröter, H. (2007). Testing the race model inequality: An algorithm and computer programs.

Behavior Research Methods, 39(2), 291−302.

van der Burg, E., Olivers, C. N. L., Bronkhorst, A. W., & Theeuwes, J. (2008). Pip and pop: Nonspatial auditory signals improve spatial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34*(5), 1053−1065.

van der Burg, E., Talsma, D., Olivers, C. N. L., Hickey, C., & Theeuwes, J. (2011). Early multisensory interactions affect the competition among multiple visual objects. *Neuroimage, 55*(3), 1208−1218.

van der Stoep, N., van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2015). Erratum to: Exogenous spatial attention decreases audiovisual integration. *Attention Perception & Psychophysics, 77*(1), 464−482.

van der Stoep, N., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C., & Spence, C. (2016). Visually induced inhibition of return affects the integration of auditory and visual information. *Perception, 46*(1), 6−17.

Ward, L. M., Mcdonald, J. J., & Lin, D. (2000). On asymmetries in cross-modal spatial attention orienting. *Percept Psychophys, 62*(6), 1258−1264.

Wascher, E., & Tipper, S. P. (2004). Revealing effects of noninformative spatial cues: an EEG study of inhibition of return. *Psychophysiology, 41*(5), 716–728.

WEN, Z. L., FAN, X. T., YE B. J., & CHEN, Y. S. (2016). Characteristics of an effect size and appropriateness of mediation effect size measures revisited. *Acta Psychologica Sinica, 48*(4), 435−443.

[温忠麟，范息涛，叶宝娟，陈宇帅. (2016). 从效应量应有的性质看中介效应量的合理性. *心理学报, 48*(4), 435−443.]

Yang, W. P., Chu, B. Q., Yang, J. J., Yu, Y. H., Wu, J. L., & Yu, S. Y. (2014). Elevated audiovisual temporal interaction in patients with migraine without aura. *The Journal of Headache and Pain, 15*(1), 44.

Yang, Z., & Mayer, A. R. (2014). An event-related FMRI study of exogenous orienting across vision and audition. *Human Brain Mapping, 35*(3), 964−974.

Visually induced inhibition of return affects the audiovisual integration under different SOA conditions

PENG Xing[1]; CHANG Ruosong[1]; LI Qi[2]; WANG Aijun[3]; TANG Xiaoyu[1]

([1] *School of Psychology, Liaoning Collaborative Innovation Center of Children and Adolescents Healthy Personality Assessment and Cultivation, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*) ([2] *School of Computer Science and Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun* 130022, *China*) ([3] *Department of Psychology, Research Center for Psychology and Behavioral Sciences, Soochow University, Suzhou* 215123, *China*)

Abstract

Both audiovisual integration and inhibition of return (IOR) can facilitate the processing of sensory information, such as enhancing the perceptual processing. Previous studies found that IOR decreased the audiovisual integration at previously attended locations. Several hypotheses have been put forward to explain the effect of IOR on audiovisual integration: perceptual sensitivity, spatial uncertainty, and differences in unimodal signal strength. In present study, we used cue-target paradigm and manipulated the SOA conditions (400~600 ms vs. 1000~1200 ms) to investigate how audiovisual integration would be modulated by IOR induced by visual exogenous spatial cues.

The current study was a 2 (SOA conditions: 400~600 ms, 1000~1200 ms) × 3 (target modalities: visual, auditory, audiovisual) × 2 (cue validities: cued, uncued) factorial design. Twenty-seven undergraduate students were recruited as paid volunteers from a university. The visual (V) target was a red and white block (1°×1°). The auditory (A) target (duration of 100 ms) was a 1000 Hz sinusoidal tone presented by speakers. The audiovisual (AV) target was composed by the simultaneous presentation of both the visual and the auditory stimuli. At the beginning of each trial, the fixation stimulus was presented for 800~1000 ms in the center of the display. Following the fixation stimulus, a visual white square served as a exogenous cue was presented for 50 ms at the left or right location randomly. Then, the fixation stimulus was randomly presented for 150~250/450~550 ms, which was followed by a central cue with a delay of 50 ms. Before the target (100 ms) occurrence, the fixation stimulus randomly appeared again for 150~250/450~550 ms. Thus, the SOA between the peripheral cue and the target was completed in 400~600/1000~1200 ms. The target (A, V, or AV) randomly appeared (6/7) for 100 ms in the left or right locations, or no stimulus appeared (1/7). During the experiment, participants were instructed to respond to the target stimulus at any possible locations by pressing a response button as quickly and accurately as possible.

The results showed that the responses to AV targets were faster than V or A targets, indicating the appearance of the bimodal advancement effect. A smaller magnitude of audiovisual IOR as compared to visual IOR was found whether it's in short or long SOA conditions. In addition, visual IOR effect was significantly reduced under the long SOA condition compared with the short SOA condition while the audiovisual integration effect increased by SOA. The results of the relative multisensory response enhancement (rMRE), race model (probability difference) and positive area under the curve (pAUC) showed that audiovisual integration decreased at cued compared to uncued locations under the short SOA condition but not the long SOA condition.

Based on the aforementioned findings, it is assumed that visual IOR decreased the audiovisual integration in the short SOA, and audiovisual integration would be modulated by different SOA conditions. The current result supported the hypothesis of differences in unimodal signal strength.

Key words exogenous spatial attention; audiovisual integration; inhibition of return; race model; cue-target paradigm